

고지대에서의 전파도달범위 분석을 위한 실측 데이터 기반 전파도달 상관관계 분석모델 연구

한인성¹, 손주항*, 박무성¹
¹국방과학연구소

A study on analysis model for real radio spectrum data correlation in High-Mountain Area

In-Sung Han¹, Ju-Hang Sohn^{1*}, Moo-Sung Park¹

¹Agency for Defence and Development Institute

요 약 최근 기업과 개인 및 그 외 다양한 분야에서 고속 무선 통신기술의 수요가 증가함에 따라 최적화된 서비스를 계획하
기 위해 전파의 도달범위에 관한 많은 연구들이 진행되고 있으나, 접근이 제한되는 고지대의 경우는 전파를 실측하고 도달범
위를 분석하는데 많은 제한이 되고 있다. 신규 서비스들의 원활한 통신 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 전파 환경에서
폭넓은 주파수 대역을 바탕으로 하는 조건(전파 모델의 선택, 주파수 대역에 따른 보정 값 등)이 고려되어야 한다. 특히 전파
환경이 복잡해짐에 따라 각 주파수 대역에 대한 지역별 전파 환경의 측정, 조사를 통하여 실시간 전파 스펙트럼의 변화 등을
조기에 감지함으로써 적절한 대책을 수립할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 실시간 스펙트럼 분포 상태 조사를 통해 지역별
전파 환경 기초 자료의 확보가 필요하며, 전파 측정 데이터의 저장 및 분석을 통한 추후 문제 발생 시 빠른 대책 수립이
가능해야한다. 본 논문에서는 신뢰성 있는 전파도달범위를 분석 및 예측을 위해 HTZ Warfare를 이용하여 접근이 제한되는
국내 각 고지대 지역에서 실측 전파데이터를 수집하고, 예측된 데이터와 비교하여 상관관계 분석을 수행하였다. 또한 주파수
별, 전파모델별 분석 및 시뮬레이션 실험을 통해 각 고지대에서 가장 적합한 전파 모델들을 비교 평가하였다.

Abstract As the needs for fast wireless communication technology in various fields, including companies, individuals, etc., grows, many research projects related to the coverage of propagation are being carried out for plaining optimized communication services. On the other hand, there are some limitations in surveying and analyzing propagation in highland areas. To provide a better communication service of a new service, a range of radio environment conditions based on a wide radio bandwidth (selection of propagation model, correction of value in accordance with radio bandwidth, etc.) should be considered. In particular, radio environment conditions are becoming increasingly sophisticated. By the early detection of real-time changes in the radio spectrum, which is based on an examination and research of regional occupied band width condition, proper measures should be established. To make a proper solution of above, the basic real-time analysis of spectrum distribution status by regional groups is necessary. In addition, the establishment of prompt measures should be enable by stored or analyzed radio data. In an attempt to predict reliable propagation coverage, this thesis examines the limited propagation data with HTZ Warfare, which were collected from domestic high land sites faced with limited access. Furthermore, a comparative result value evaluation for an optimized propagation model was performed through testing simulations, and frequency-dependent and propagation model-dependent analysis.

Keywords : Propagation, Radio, Spectrum, Measurement, HTZ Warfare

*Corresponding Author : Ju-Hang Sohn(Agency for Defence and Development Institute.)

Tel: +82-2-3400-2481 email: p9741181@gmail.com

Received February 11, 2016

Revised (1st April 22, 2016, 2nd May 4, 2016)

Accepted May 12, 2016

Published May 31, 2016

1. 서론

최근 기업과 개인 및 그 외 다양한 분야에서 통신 기술의 급속한 발전에 따라 신규 서비스가 제공되고 있으므로 서비스 품질을 유지하고 개선하기 위해서는 원활한 주파수 사용이 중요한 요소로 강조되고 있다. 특히 전파 환경이 복잡해짐에 따라 각 주파수 대역에 대한 지역별 전파 환경의 측정, 조사를 통하여 실시간 전파 스펙트럼의 변화 등을 조기에 감지함으로써 적절한 대책을 수립할 수 있어야 한다[1][4-5]. 이를 위해서는 실시간 스펙트럼 분포 상태 조사를 통해 지역별 전파 환경 기초 자료의 확보가 필요하며, 전파 측정 데이터의 저장 및 분석을 통한 추후 문제 발생 시 빠른 대책 수립이 가능해야 한다. 또한 특정 신호 또는 주파수에 대한 품질 조사가 필요하며, 향후 서비스 사업자의 다양한 신규 서비스 제공에 대한 전파 환경 자료를 확보함으로써 신규 서비스 주파수 대역의 할당에 필요한 자료를 확보해야 한다. 전파 환경의 측정, 조사를 통해 서비스 제공자가 양호한 품질의 서비스를 지속적으로 제공 할 수 있도록 선도하는 역할을 수행할 뿐만 아니라 전파 환경의 측정을 통한 국가 통신망 구축에 발생할 수 있는 문제점을 조기에 감지, 신속 대처 및 통신장애 요인을 제거 하는 것이 필요하다[2].

따라서, 본 논문에서는 국내 각 고지대를 선택 후 각 지역에서 발생하는 전파를 실측 및 분석하고 최적의 전파모델을 선택하는 연구를 위해, HTZ Warfare[8] 소프트웨어를 활용하였다. HTZ Warfare는 광범위하게 사용되는 무선망 계획 소프트웨어로서, 접근제한 지역에 대한 전파측정으로 고품질의 통신 서비스를 제공할 수 있는 방안을 연구하는데 적극 활용되는 소프트웨어이다. HTZ Warfare 소프트웨어는 군사목적 관련 부분과, 상용의 네트워크(방송, 이동통신, LMDS(Local Multi-point Distribution System), Mesh, 마이크로웨이브 링크, 위성 등)를 시뮬레이션 할 수 있으며, 고정망과 이동망(통신, 레이더 위치 등 포함)을 연구할 수 있는 특징이 있다. 또한, 군의 임무 수행과 군사훈련, 작전, 미사일 비행경로의 최적화, 방향 탐지기(Direction Finding)와 기만기(Jammer)를 통한 위치검색 등과 같은 전자전(Electronic Warfare)을 위해 사전배치 및 준비단계에도 이용되며, 기록된 데이터의 분석과 복구 그리고 완료된 임무에 대한 검증과 같은 작업들을 브리핑할 때에 사용될 수 있다.

넓은 주파수 대역에서 실제 운용 환경 및 전파 측정이

어려운 지역에 대한 전파 도달범위 분석 및 전파 월경 분석 기능을 제공하므로, 전파 측정 장치를 사용하여 수집한 데이터의 보완 또는 측정이 불가능한 지역 등에서 발생하는 전파의 영향 등을 예측하는데 사용이 가능하다.

본 논문에서는 신뢰성 있는 전파도달범위를 분석 및 예측하기 위해 HTZ Warfare를 이용하여 접근이 제한되는 국내 각 고지대 지역에서 실측 전파데이터를 수집하고 상관관계 분석을 하였고, 시뮬레이션 실험을 통해 각 고지대에서 가장 적합한 전파 모델들을 비교 평가하였다.

2. 관련연구

본 장에서는 여러 가지 전파모델들[3]을 소개하고, 본 연구에 적용된 전파모델을 소개한다. 본 논문에서는 자유공간손실모델, 회절 손실 모델 및 부 경로 감쇄 손실 모델들을 적용하여 상관도 분석을 실행하였다.

송신원에서 방사된 전파에 대한 수신지점에서의 수신 레벨은 계측장비를 통한 직접측정을 통해 확인하는 방법이 가장 정확하겠지만, 그렇지 못할 경우 전파예측모델을 통해 수신레벨을 예측할 수 있다. 다양한 종류의 전파예측모델은 대도시의 경우 빌딩에 의한 반사파, 회절, 간섭 등에 의해 선정된 전파예측모델의 값들도 다양하게 나올 수 있다. 즉 전파예측모델의 적용은 측정하고자 하는 주변의 전파환경 및 사용하고자 하는 주파수 등을 신중히 고려해서 선택해야 실측값과 유사한 결과를 얻을 수 있다. 하지만 특정지역의 전파환경 및 주파수 등을 최대한 고려한 전파예측모델도 결과 값이 다르게 나오는 경우가 많아 실제 특정지역의 최적의 전파예측모델은 실 환경에서의 측정값과 전파예측모델의 시뮬레이션 값과의 비교·분석을 통해 얻을 수 있다[9].

2.1 자유공간손실모델

실험에서는 자유공간손실모델(Free Space Path loss Model)을 사용하였으며, 이 모델은 Tx와 Rx사이에 아무런 장애물이 없는 환경을 가정하고 있으며, 이러한 상태는 에너지를 흡수하는 기체들도 존재하지 않고 무선 신호가 산란되지 않는 진공 상태를 말한다. 채널에 LoS(Line of Sight)만 존재하며, 이 모델에서 수신되는 신호의 전력은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= \frac{|E|^2}{120\pi} A_e \frac{1}{L} \\
 &= \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \cdot \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{L} \\
 &= \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

System loss factor L 은 전송라인에서 발생하는 감쇄 필터에 의한 손실, 안테나 손실 등을 포함하는 시스템 하드웨어의 손실을 의미한다. 위 식을 통한 자유공간손실 모델에서 수신 전력은 거리 d 에 제곱에 비례해 감소하는 것을 알 수 있다.

- P_t : Tx Power
- G_t : Tx Antenna gain
- G_r : Rx Antenna gain
- λ : Wavelength of radio signal
- L : System loss factor, e.g $L \equiv 1$ for no loss
- $P_t \cdot G_t$: Effective Isotropic Radiated Power
- A_e : Effective aperture of Rx. Antenna

$$G_r = 4\pi A_e / \lambda^2$$

2.2 회절모델

회절(Diffraction)모델은 입사된 전자파가 장애물에 의해 차단이 되었을 때, 그 장애물의 모서리 평면 부분으로부터 제 2의 전원점 (Point source)이 생성되는 현상으로 이때 발생하는 감쇄를 최대한 간단한 경우로 모델화하여 만들어진 것이다. 회절은 음영 지역 안에서도 통신을 가능케 하는 현상을 설명할 수 있는 전파 전달 메커니즘이다.

Fig. 1은 회절모델 중 Knife-edge Model 로 d 는 전송거리, h 는 장애점을 나타낸다.

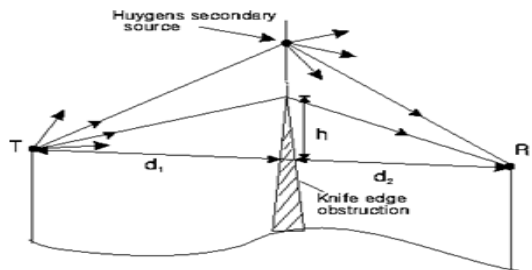


Fig. 1. Knife-edge Model

언덕이나 산맥과 같은 단일 물체에 의해 음영지역 (Shadow area)이 생길 때의 회절에 대한 감쇄를 계산한 가장 단순한 회절 모델이고, 이런 경우 회절 손실은 knife-edge를 고전적인 프레넬(Fresnel) 모델을 사용하여 쉽게 어림잡을 수 있다. 프레넬방정식은 식(2)와 같다.

$$R = \frac{\left(\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}\right)^2}{2} + \frac{\left(\frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)}\right)^2}{2} \tag{2}$$

- R : 반사율
- α : 입사파의 입사각도
- β : 굴절파의 법선(접평면에 수직인 직선)과 굴절각도

2.4 Deygout 1994 모델

Deygout 1994 모델은 송신된 신호에 의해 만나는 능선 중 첫 번째 능선은 회절의 결과로 나타나는 감쇄에 대해 주로 책임을 지고, 다른 능선은 단순히 부가적인 감쇄만을 고려한다. 따라서, 첫 번째 능선에서의 감쇄는 다른 것에 대한 고려 없이 계산되며, 이차 능선에 의해 생성된 감쇄는 이 능선의 다음 능선이 이전의 능선에 의하여 회절된 에너지를 회절하는 것으로 고려하여 계산된다.

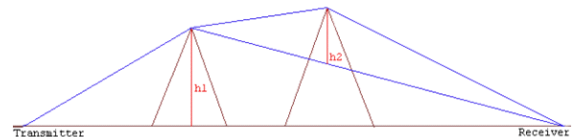


Fig. 2. Deygout 1994

2.5 부경로(Subpath) 모델

처음의 프레넬(Fresnel) 타원체에 장애물로 인한 감쇄가 계산되며, 일단 한번 결정된 감쇄 값은 그 장애물의 정도에 따라 추가적인 감쇄 값이 고려되게 된다.

Fig. 3과 같이 다른 타원체가 고려될 수 있다. 즉, 프레넬 타원체의 값을 고려하여 이것에 따르는 회절의 영향에 따른 감쇄 값을 보정하여 준다.

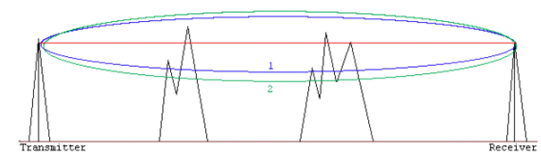


Fig. 3. Subpath Model

2.6 Coarse Integration 모델

프레넬 타원체와 서로 관련된 지형 프로파일의 장애물의 평균 높이를 고려한다. 이 방법은 커버리지 계산에 빠른 계산 시간을 갖는다.

2.7 스펙트럼분석 적용 모델

광대역의 전파에 대한 전파 모델의 선정과, 지상파만을 대상으로 하는 전파 환경을 고려하여 자유공간 손실 모델(거리에 따른 전파 감쇄 적용), 회절 손실 모델(Non LoS 장애물 환경 적용), 부 경로 감쇄 손실 모델(Near LoS 장애물 환경 적용) 내용을 기준으로 하여 각각의 모델을 Fig. 4와 같이 적용할 수 있다.

3. 전파 스펙트럼 측정 방안

전파측정을 위해서는 각 지형조건들을 고려하여, 주파수와 방사할 후보지 위치들을 선정 후, 각 후보지에서 신호를 방사(Emission)하며, 차량을 이용하여 큰 길을 중심으로 수신 신호를 측정하고 데이터를 수집해야 한다.

3.1 전파 측정 내용 및 범위

본 연구를 위해 1차로 대상산 측정을 기준으로 하여, 고정 및 이동 측정을 모두 진행 하였고, 이를 기초로 2차 4개 후보지인(대부도, 원주, 예산, 홍성)에 대한 전파 측정은 이동 측정만을 데이터에 적용하였다.

Table 1. Radio Measurement Specification and Coverage

Category	Contents
Frequency	HF (28.7 MHz) VHF (110 MHz) UHF Bandwidth (415MHz , 850MHz , 1.8GHz, 2.1GHz)
Location	5 location - 1 st : OO Mountain - 2 nd : Daebudo, Yesan, Hongsung, Wonju
Type	Non-modulation CW Frequency

Table 1은 전파 측정 내용 및 범위를 나타낸 것으로, 측정주파수는 HF(High Frequency), VHF(Very High Frequency), UHF(Ultra High Frequency) 대역을 수집하였으며, 4개 고지대에서 전파를 측정하였다. 전파형태 및 출력은 무변조 CW(Continuous Wave)파를 이용하였다. 단, 송신출력은 유효 등방성 복사전력(EIRP:

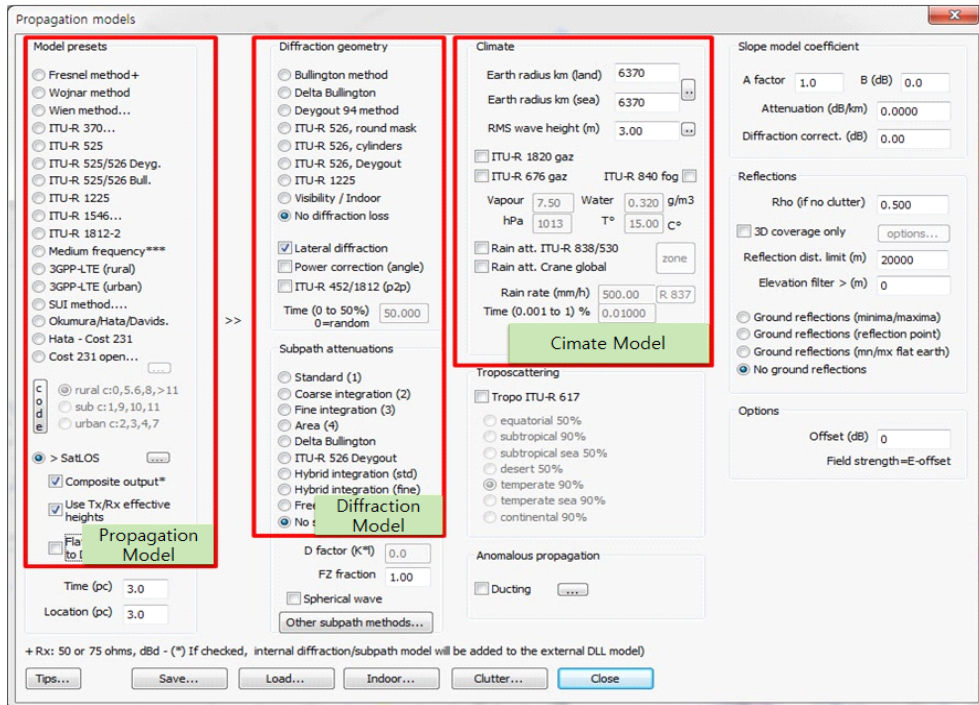


Fig. 4. HTZ Warfare Propagation Model Program Feature

Effective Isotropically Radiated Power) 기준 10 ~ 20W 정도를 고려하며, 안테나 이득에 따라 실제 출력은 달라질 수 있다.

Table 2. Transmitting System Elements and Function

Device	Standard	Function
Transmitting Antenna	1 ~ 10 dBi	Propagate High Frequency Power in the air (It can be changed in accordance with frequency bandwidth)
Signal Gen	10KHz ~ 3GHz	RF Signal Generation Device
Power Amp.	20W	amplify input-signal to pronunciation
Cable	-	supply amplifier-output to antenna
Tripod	6 m	roll of support fixture in case of steel tower absence
Electric Gen	200V	Power supplier in case of power absence
Power Relay Cable	20m	Connection cable for long distance power-supply

또한 송신에서 일부 주파수의 경우, 방사되는 신호에 대한 허가 여부의 판단이 고려되어야 할 것으로 생각되며, 방사되는 주파수와 출력에 대한 적절한 판단이 필요하다.

Table 2 는 송신시스템의 구성을 위한 장비들과 각

장비의 수량 및 규격과 기능을 나타내고 있다.

3.2 전파 측정 시스템

3.2.1 송신시스템

송신 시스템은 각각의 주파수 대역에 대해 RF(Radio Frequency) 신호발생기를 통해 CW신호를 송신하는 시스템으로서, 주요 구성요소로는 발진기, 신호발생기, POWER AMP(Power Amplifier), 송신 안테나 등으로 구성된다. 송신시스템은 Fig. 5과 같이 주파수 대역으로 나누어 구성하고 전체 5개의 간이 송신소로 구성하였다.

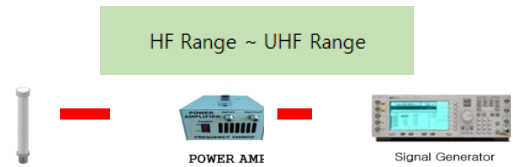


Fig. 5. Diagram of Transmitting System

3.2.2 수신시스템

수신 시스템은 차량에 탑재되어 운영하였으며, 주요 구성요소로는 복사전력(EIRP) 측정기, 스펙트럼 분석기, 수신안테나, LNA(Low Noise Amp.), GPS(Global Positioning System), 노트북 등으로 구성된다. 차량의 이동거리에 따른 수신 전계강도를 측정하고 저장하는 역

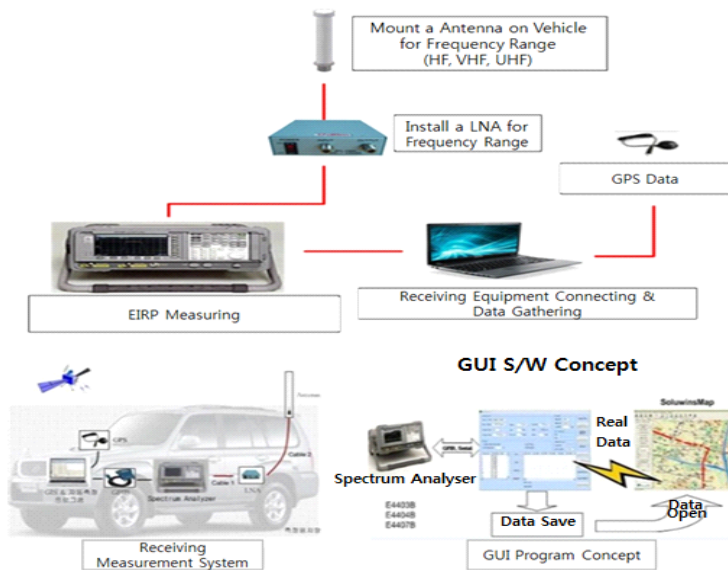


Fig. 6. Diagram of Receiving System

할을 한다.

Fig. 6은 전파를 측정하기 위해 전파신호를 수신하는 구성도와 이동 수신차량의 구성 및 프로그램을 이용한 수신정보 관리방안에 대한 내용이며, Table 3은 각 구성 수신시스템 구성 모듈에 대한 규격 및 기능을 나타내고 있다.

Table 3. Receiving System Elements and Function

Device	Standard	Function
Spectrum Analyzer	1KHz ~ 3GHz	Measuring receiving-field strength of frequency
Program	-	Storing measurement data and location information
GPIB(General Purpose Interface Bus) CEC488	-	controlling spectrum with laptop computer
GPS	-	Receiving GPS location data
LNA	18 dB	Amplify receive-signal
Receive Antenna	dB	Receiving selected-frequency
Cable (N-N Type)	-	Connecting receive-antenna and LAN Connecting LNA and Spectrum
Inverter	-	Vehicle Power 220V Power-Supply
Vehicle	-	Utilizing road-measurement

3.2.3 측정프로그램

측정프로그램은 GPS 수신기를 통한 위경도 좌표, 측정시간, 고도 등과 함께, 스펙트럼 분석기로 부터 측정된

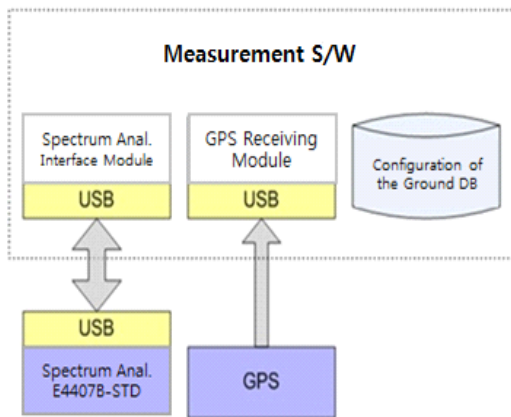


Fig. 7. Concept of Measurement Program and Main View Feature

수신 전계강도 데이터를 저장하는 기능을 수행한다.

Fig. 7은 측정 프로그램에 대한 GUI 화면과 정보구성에 대한 내용으로, 측정 프로그램은 USB 인터페이스를 통해 스펙트럼 분석기와 데이터를 송수신하며, 외부로부터 GPS 정보를 수신하여 프로그램에 위치정보로 구동되는 것을 나타낸 것이다.

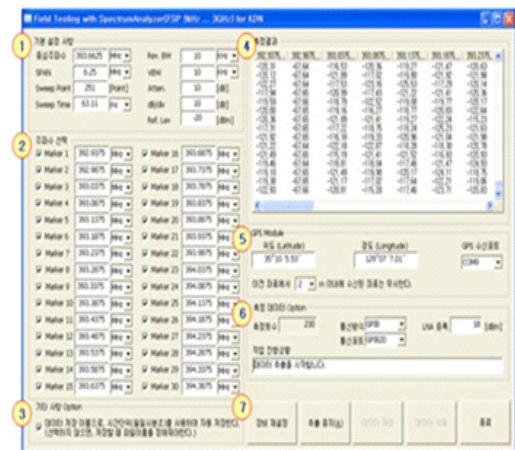
Table 4는 측정프로그램의 메인화면에 대한 주요 기능을 나타내고 있다.

Table 4. Main Function of Measurement Program

Function	Contents
Basic Setting	Central frequency, SPAN, BW, Atten, Ref.Level Setting
Frequency Selection	Selection of corresponding frequency
GPS Setting	latitude/longitude output, Setting for GPS receiving-port
Measurement Device Setting	Setting for communication-port , Processing for LNA amplification value
Display	Function for grid-display the result of field strength measurement in
Reset, Save	Function of resetting device and saving data(csv type)

4. 전파 시뮬레이션 및 상관도 분석기법

실측 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션[6] 적용 지도



는 현재 적용할 수 있는 상용의 2m 해상도의 지도를 사용한다. 지도의 종류 및 형태는 Fig. 8과 같고, 지도규격은 Table 5와 같다.

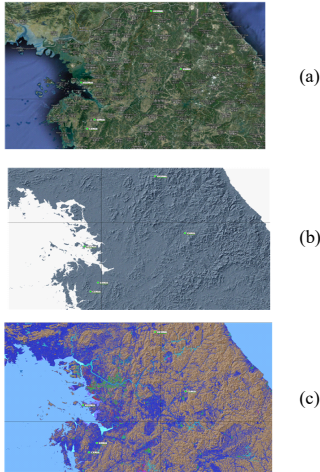


Fig. 8. Map kind and type
(a) ATDI on-line Bing Map (b) DTM (c) Cluster Map

Table 5. Map Standards

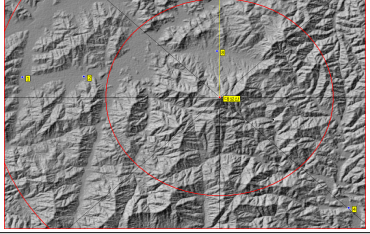
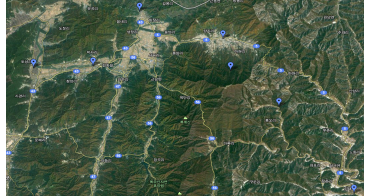
Category	Standard	Etc
Target Area	Korea	area : 98217.53 Km2
Resolution	30m (20m re-sample)	Specific content * Map Type * Reference
Standard-year	'10 ~ '11	
Type of map	2D Map	1:100,000 reduced scale Geo Image Co. (France)
	DTM	20m Resolution (flat accuracy 25m) (altitude accuracy 15m) Go Image Co. (France) Production (Digital Terrain Map) SRTM Source
	Cluster 3D,M,R,Rp,F	20m Resolution Go Image Co. (France) Production Clerster 20 ClassesSatellite Image Source

4.1 전파측정 실측 결과

4.1.1 1차 측정 개요

범위는 대성산 중심 30km 반경 내 LoS[7] 지점 고정 측정을 하였으며, 대성산 중심 국도/지방도 중심 이동 측정을 수행하였다.

Table 6. Position of fixed and mobile measurement each other site

Category	Contents
Fixed-measurement	Fixed-measurement from transmitting location to LoS location(4 position: 1100 Toseng-li , 104 Cheonyang-li, 861-6 Shindea-li , 1392-2 Mahyeon-li) 
Moved-measurement	Moved-measurement from transmitting location to LoS location(4 position: 5/43/56 national highway, 461/463/464 local road) 

4.2 LoS 예측 및 실측 비교결과

4.2.1 LoS 예측 프로파일 분석

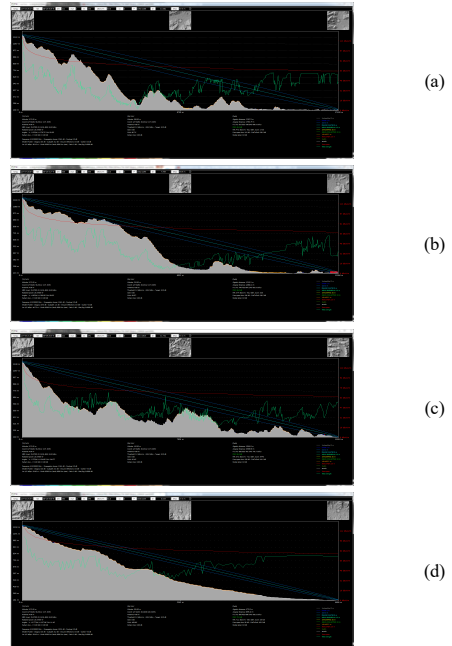


Fig. 9. Analysis result of LoS prediction profile in each other site

(a) 1100, Toseong-li (b) 104, Cheonyang-li
(c) 861-6 Shindea-li (d) 1392-2 Mahyeon-li

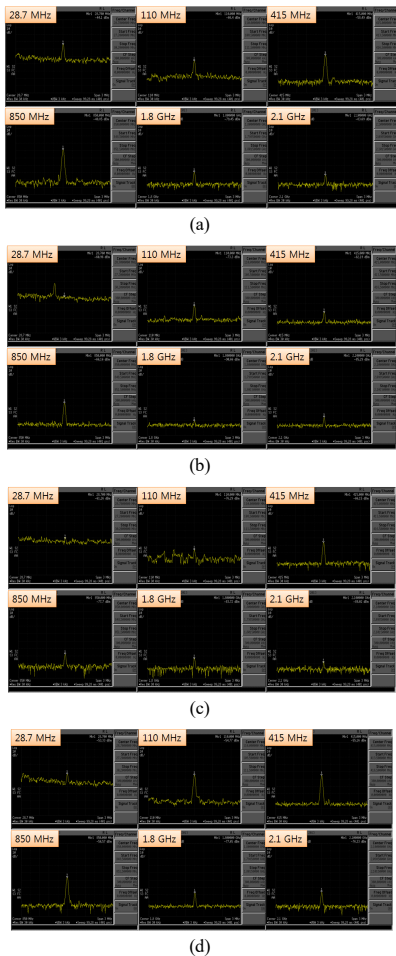


Fig. 10. Measurement Result of Fixed Radio in each other sites
 (a)1100, Toscong-li (b)104, Cheonyang-li
 (c) 861-6 Shindea-li (d) 1392-2 Mahyeon-li

Fig. 9는 각 4개 지역에 실측한 데이터를 기반으로 LoS 예측 프로파일을 분석하고 각 지역별 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

4.2.2 LoS 고정 전파 측정 결과

Fig. 10은 8.7MHz, 110MHz, 415MHz, 850MHz, 1.8GHz, 2.1GHz에 대해 각각 4개 site에 대한 예측 치와 실측치의 상관계수 값(Coefficient of Correlation)을 계산하였고, 그 결과는 각각 0.26065, 0.75378, 0.862702, 0.118924, 0.797126, 0.500775의 값을 나타내었다.

상관계수는 -1~+1의 값의 범위를 가지는데, 1인 경우 완벽하게 일치하는 관계, -1의 경우 상반되는 관계이고, 0인 경우 상관이 없다는 것을 나타낸다.

2850MHz와 28.7MHz부분은 예측치와 실측치의 차이가 가장 많이 벌어지는 대역으로 결과가 나타났다. 즉, 보정이 꼭 필요한 부분으로 판단된다.

Fig. 11는 예측치와 실측치의 dB 차이를 나타낸다.

4.3 주파수 별 상관도 분석 결과

주파수별 상관도 분석을 위해 측정위치들을 기준으로 주파수 별로 분석하였다. Table 8에서 나타낸 바와 같이 비교 결과 중 $\% \leq 6\text{dB}$ 결과로 분석한 결과 28.7MHz와 110MHz에서는 525/526/526, 525/Deygout94/Coarse 모델이 상대적으로 높은 상관도를 형성하는 것으로 나타났다. 380/415 MHz, 850 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz 에서는 대체적으로 525/Deaygout94/NoSubpath 모델이 상관도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 1800 MHz, 2100 MHz의 경우, 525/Deygout94/Standard 모델도 유효할 것으로 분석된다.

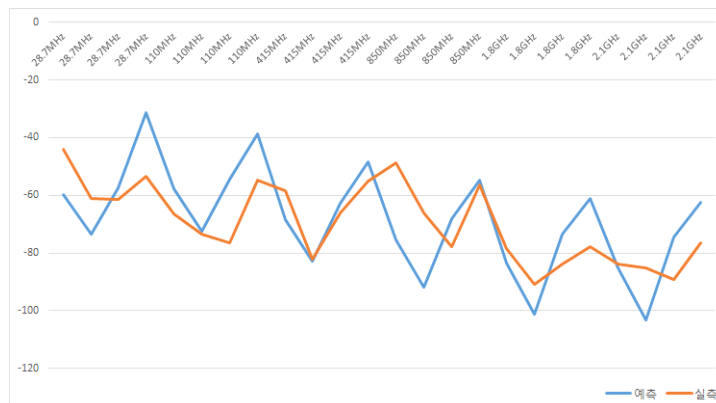


Fig. 11. Comparison dB of prediction and measurement value

Table 7. Comparison result of LoS fixed Radio Prediction and Measurement for DeaSung-Mountain

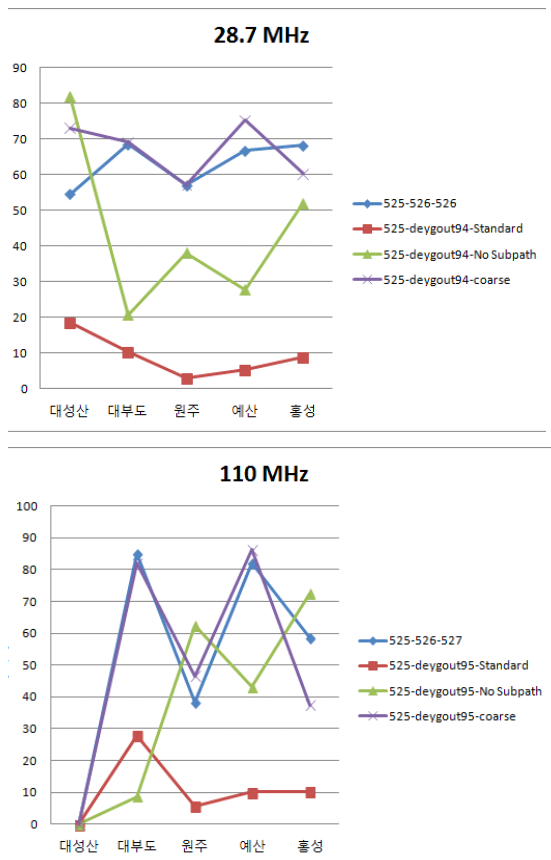
Transmission Point	Receiving Point	Distance (m)	Prediction Value (dB)	Measured value (dB)
28.7	1	17429.79	-59.78	-44.1
28.7	2	11538.31	-73.3	-60.96
28.7	4	15910.13	-57.29	-61.26
28.7	8	4686.15	-31.28	-53.33
110	1	17429.79	-57.83	-66.4
110	2	11538.31	-72.36	-73.3
110	4	15910.13	-54.34	-76.29
110	8	4686.15	-38.7	-54.77
415	1	17429.79	-68.49	-58.49
415	2	11538.31	-82.94	-82.19
415	4	15910.13	-62.8	-66.15
415	8	4686.15	-48.5	-55.16
850	1	17429.79	-75.57	-48.85
850	2	11538.31	-91.74	-66.16
850	4	15910.13	-68.19	-77.7
850	8	4686.15	-54.69	-56.57
1.8	1	17429.79	-83.38	-78.45
1.8	2	11538.31	-101.08	-90.66
1.8	4	15910.13	-73.5	-83.72
1.8	8	4686.15	-61.08	-77.65
2.1	1	17429.79	-85.05	-83.69
2.1	2	11538.31	-103.05	-85.29
2.1	4	15910.13	-74.54	-89.02
2.1	8	4686.15	-62.41	-76.33

Table 8. Analysis result of each other frequencies

MHz	Frequency Model	O	Deab	Won	Ye	Ho
		O	u	ju	san	ng
		% $\leq\pm 6$	% $\leq\pm 6$	% $\leq\pm 6$	% $\leq\pm 6$	% $\leq\pm 6$
		dB	dB	dB	dB	dB
28.7	525-526-526	54.51	68.44	57.04	66.73	68.27
28.7	525-deygout94-Standard	18.66	10.33	3	5.32	9.02
28.7	525-deygout94-NoSubpath	81.86	20.79	37.99	27.73	51.99
28.7	525-deygout94-coarse	73	69.02	57.1	75.2	60.21
110	525-526-527	0	85.02	38.39	82.09	58.68
110	525-deygout95-Standard	0	27.93	5.6	10.12	10.28
110	525-deygout95-No Subpath	0	8.79	62.41	43.1	72.49
110	525-deygout95-coarse	0	81.96	46.54	86.22	37.41
380	525-526-528	65.28	61.43	17.74	56.33	9.99
380	525-deygout96-Standard	83.8	54.85	15.19	14.06	6.81
380	525-deygout96-No Subpath	72.36	64.16	76.61	79.77	73.67
380	525-deygout96-coarse	87.41	71.08	37.76	35.69	17.54
850	525-526-529	28.37	39.34	9.28	28.19	10.43
850	525-deygout97-Standard	54.13	62.67	24.97	22.92	8.33

850	525-deygout97-No Subpath	74.61	72.62	90.19	79.84	60.56
850	525-deygout97-coarse	69.96	58.7	24.78	24.9	7.13
1800	525-526-530	48.04	46.26	21.34	45.82	5.2
1800	525-deygout98-Standard	85.61	74.73	73.93	67.99	62.31
1800	525-deygout98-No Subpath	89.63	66.82	75.11	77.24	93.03
1800	525-deygout98-coarse	86.96	73.32	45.19	45.82	19.53
2100	525-526-531	44.01	49.72	22.91	57.97	5.77
2100	525-deygout99-Standard	83.86	72.83	72.5	76.66	65.59
2100	525-deygout99-No Subpath	89.5	65.9	69.13	68.54	92.07
2100	525-deygout99-coarse	84.83	76.08	45.07	57.4	23.4

Fig. 12는 Table 8에 대한 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.



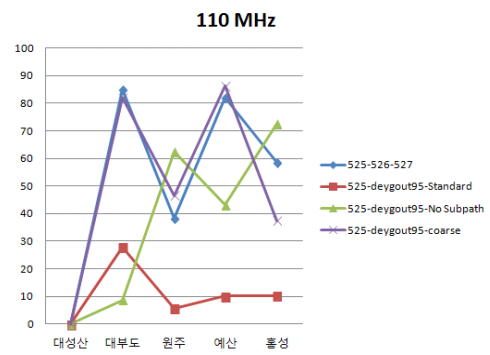
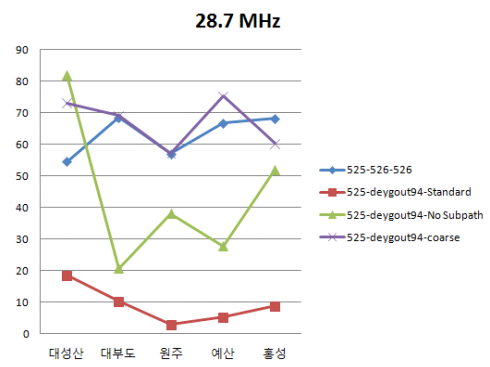
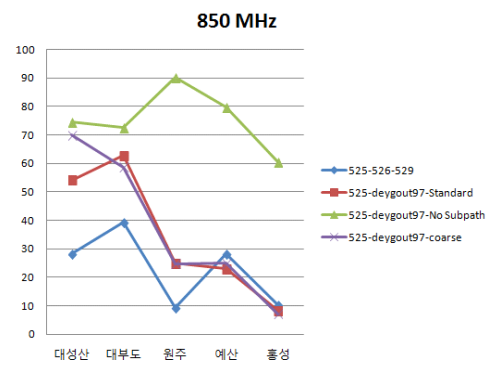
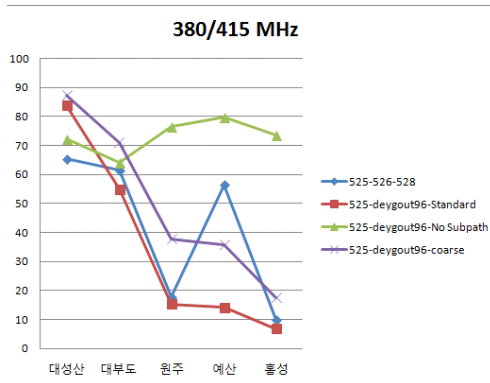


Fig. 12. Analysis result graph of each other frequency

4.4 전파 모델 별 상관도 분석 결과

측정위치들을 기준으로 전파 모델별로 분석한 결과, 비교 결과 중 $\% \leq \pm 6\text{dB}$ 결과만 갖고 측정값을 기록하였다.

Table 9의 분석결과 상대적으로 낮은 주파수 대역에서는 525/526/526, 525/Deygout94/Coarse 모델이 상관도 퍼센트가 높았으며, 높은 주파수에서는 525/Deygout94/Standard., 525/Deygout94/NoSubpath 모델이 상관도가 높은 것으로 나타났다.

Table 9. Analysis result of each other propagation models

Category		Dae Sung san	Daebu do	Won ju	Ye san	Hong sung
Frequency Model	MHz	$\% \leq \pm 6\text{dB}$	$\% \leq \pm 6\text{dB}$	$\% \leq \pm 6\text{dB}$	$\% \leq \pm 6\text{dB}$	$\% \leq \pm 6\text{dB}$
525-526-526	28.7	54.51	68.44	57.04	66.73	68.27
	110	-	85.02	38.39	82.09	58.68
	380	65.28	61.43	17.74	56.33	9.99
	850	28.37	39.34	9.28	28.19	10.43
	1800	48.04	46.26	21.34	45.82	5.2
525-deygout94-Standard	28.7	18.66	10.33	3	5.32	9.02
	110	-	27.93	5.6	10.12	10.28
	380	83.8	54.85	15.19	14.06	6.81
	850	54.13	62.67	24.97	22.92	8.33
	1800	85.61	74.73	73.93	67.99	62.31
525-deygout94-NoSubpath	28.7	81.86	20.79	37.99	27.73	51.99
	110	-	8.79	62.41	43.1	72.49
	380	72.36	64.16	76.61	79.77	73.67
	850	74.61	72.62	90.19	79.84	60.56
	1800	89.63	66.82	75.11	77.24	93.03
525-deygout94-coarse	28.7	73	69.02	57.1	75.2	60.21
	110	-	81.96	46.54	86.22	37.41
	380	87.41	71.08	37.76	35.69	17.54
	850	69.96	58.7	24.78	24.9	7.13
	1800	86.96	73.32	45.19	45.82	19.53
2100	84.83	76.08	45.07	57.4	23.4	

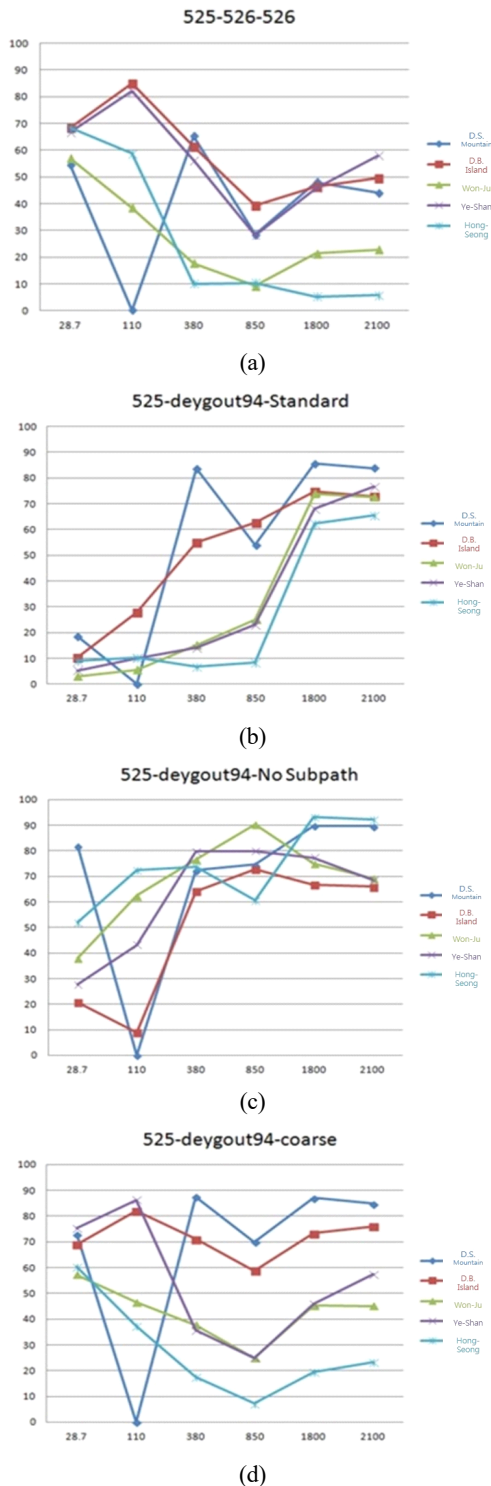


Fig. 13. Analysis result Graph of each other propagation models

Fig. 13은 Table 9에 대한 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

반면, 다양한 지역 및 광대역 주파수를 고려한다면, 상대적으로 525/Deygout94/NoSubpath 모델을 선정하는 것이 좋은 것으로 예상된다.

5. 결론

전파 환경의 측정, 조사를 통하여 서비스 제공자가 양호한 품질의 서비스를 지속적으로 제공 할 수 있도록 선도하는 역할을 수행 할 수 있으며, 신규 서비스 예상 주파수 대역에 대한 전파 환경 자료를 확보함으로써 신규 서비스 주파수 대역의 할당에 필요한 자료를 확보하여 국가 통신망 구축에 발생할 수 있는 문제점을 조기에 감지, 신속 대처할 수 있다. 이로 인해 국가 통신망 관리의 경쟁력의 우위를 유지할 수 있다. 또한 무선국 성능 측정 시 쉽고 편리하게 측정 할 수 있다.

본 논문에서는 사람의 접근이 제한된 각 지역에서 전파 스펙트럼 분포 상태를 실측하고, 실측 데이터와 HTZ Warfare를 기반으로 신뢰성 있는 전파 도달범위 예측을 위해 데이터들 간의 상관관계 분석 및 최적화된 전파모델을 시뮬레이션을 통해 제시하였다. 향후 본 연구를 토대로 지속적인 스펙트럼측정을 통한 샘플링 데이터를 축적하여 각 지역에서 신뢰성 있는 최적화 모델을 제시할 수 있을 것이다.

References

- [1] Darcy Poulin. "WiMAX advantages bring about new challenges" Aug 25, 2005
- [2] Intel Technology Journal, Volume 8, Issue 3, 2004.
- [3] Anderson, Harry R. FIXED BROADBAND WIRELESS SYSTEM DESIGN. Wiley, England 2003.
- [4] C. Eklund et al., "IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMANTM Air Interface for Broadband Wireless Access," IEEE Commun. Mag., June 2002, pp. 98 - 107. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2002.1007415>
- [5] Erceg, V., et al., "Channel models for fixed wireless access applications," http://www.wirelessman.org/tg3/contrib/802163c-01_29r4.pdf.
- [6] Propagation Model Development and Radio Planning for Future WiMAX Systems Deployment in Beirut, America

University of Beirut, Final Year Project Spring 2006.

- [7] SR Telecom Inc. "WiMAX Technology LOS and NLOS Environments" Aug 30, 2004
- [8] ICS Telecom - Propagation Models US.PDF
- [9] Jong-Mb Goo, "A study on optimizing prediction model of wave propagation by radio measurement in the small city," Master's thesis of Graduate School of Engineering Hanyang University

한 인 성(In-Sung Han)

[정회원]



- 2004년 8월 : 광운대학교 일반대학원 (컴퓨터과학 석사)
- 2009년 8월 : 광운대학교 일반대학원 (컴퓨터과학 박사)
- 2010년 8월 ~ 2012년 3월 : 한국정보인증 선임연구원
- 2012년 4월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야>

네트워크보안, Ad-Hoc 네트워크, 센서네트워크, 컴퓨터 통신, 전자통신

손 주 향(Ju-Hang Sohn)

[정회원]



- 2005년 2월 : 숭실대학교 일반대학원 컴퓨터학과 (컴퓨터학석사)
- 2005년 5월 ~ 2007년 12월 : 한국전자통신연구원
- 2007년 12월 ~ 2010년 7월 : 국방과학연구소 연구원
- 2012년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야>

인터넷 토폴로지, 전자전, 시스템 통합 및 제어

박 무 성(Moo-Sung Park)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서강대학교 전자계산학과 (전자계산 석사)
- 2005년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (전자공학 박사수료)
- 1990년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야>

시스템 및 네트워크 보안, 정보보호시스템, 군사전자, 국방정보제어